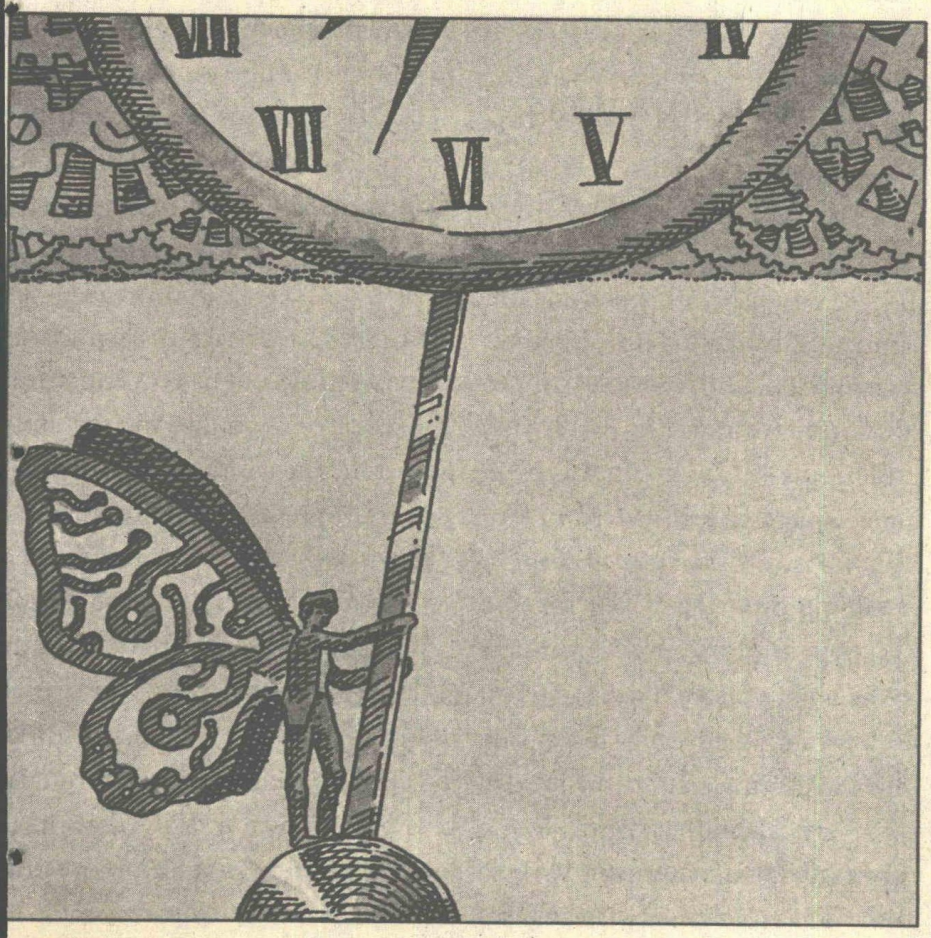
บทความพิเศษ

KNOWLEDGE – BASED

สหัส พรหมสิทธิ์

# ระบบฐานความรอบรู้แบบทันการณ์

***การนำระบบคอมพิวเตอร์แบบทันการณ์มาใช้ในการแก้ปัญหาเรื่องข้อมูลท่วมในงานด้านต่าง ๆ***



การปฏิบัติงานในโลกของธุรกิจอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบันนั้นจะมีปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่เข้ามาพัวพันกับการรับรู้ และการทำความเข้าใจของผู้ปฏิบัติงานในระดับต่าง ๆ อย่างมาก ปัจจัยอันนั้นก็คือ ข้อมูลหรืออินฟอร์เมชั่นในระดับต่ำที่พากันหลั่งไหลเข้ามาให้ผู้ปฏิบัติงานที่มีหน้าที่ในด้านการตรวจวัดติดตาม (monitor) และบังคับควบคุม ต้องรับรู้เป็นปริมาณอันมากมายอยู่ตลอดเวลา จนเป็นที่มาของปรากฏการณ์ทางจิตที่เรียกว่า ข้อมูลมากเกินจะรับรู้ (cognitive overload) อันหมายถึงปริมาณของสิ่งต่าง ๆ ที่ประดังกันเข้ามาให้ใครสักคนต้องรับรู้ในทุกขณะเวลานั้นจะมากจนรับไว้ไม่ไหว เช่น ถ้าใครสักคนทำหน้าที่เป็นโอเปอเรเตอร์ในห้องบังคับควบคุมของแท่นเจาะน้ำมัน เขาก็จะต้องคอยดูและติดตามความเป็นไปในการเจาะน้ำมันที่แสดงออกมาในรูปของสัญญาณอะนาลอกเป็นจำนวน 500 สัญญาณ กับแบบดิจิตอลอีก 2,500 สัญญาณด้วยกำลังคนเพียงคนเดียวสำหรับในปัจจุบัน ส่วนในอนาคตนั้นข้อมูลแบบนี้จะมากขึ้นอีกหลายเท่า และอาจต้องใช้โอเปอเรเตอร์สองหรือสามคนมาคอยติดตามข้อมูลในการเจาะน้ำมันซึ่งอาจมีมากถึง 20,000 สัญญาณ แต่ในโลกของธุรกิจอุตสาหกรรมจริง ๆ แล้วมีกิจกรรมที่จะต้องมีการติดตามและควบคุมอีกมากมายอีกนับไม่ถ้วน และจะมีข้อมูลที่เกิดจากตรวจวัดต่าง ๆ

อย่างมากมายในทุกขณะ จนผู้ปฏิบัติงานอาจรับไว้ไม่ไหวและสามารถก่อให้เกิดปัญหาอันเป็นความเสียหายอย่างมาก ๆ ได้ดังเคยมีมาแล้ว เช่น อุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่เกาะทรีไมล์ในสหรัฐอเมริกา ซึ่งทำให้รัฐบาลสหรัฐฯ ต้องเข้าไปแก้ปัญหานี้ด้วยราคาอันแสนแพง

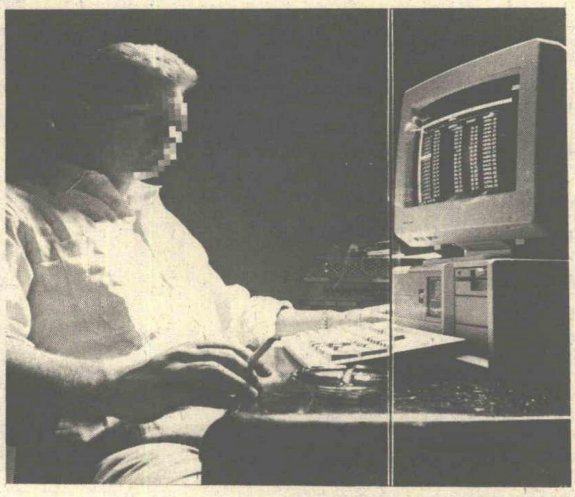
## เมื่อข้อมูลท่วมกำไรก็ลด

ภยันตรายอันเกิดจากการมีข้อมูลมากเกินไปให้ต้องทำการขบคิดและตัดสินใจ สามารถส่งผลกระทบกับกำไรรายได้ของธุรกิจนั้น ๆ ได้เป็นอย่างมาก ไม่แพ้เรื่องของคุณภาพของผลิตภัณฑ์กับเรื่องของความปลอดภัยของการดำเนินงานที่ต่างก็มีสิทธิ์ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ข้อมูลมากเกินจะรับรู้ได้ทั้งสิ้น หนึ่งในบรรดาต้นตอที่ก่อให้เกิดตัวเลขข้อมูลอย่างมากมายก่ายกองในแต่ละช่วงเวลาก็คือ การนำระบบคอมพิวเตอร์แบบทันการณ์ (real-time computer systems) เข้ามาใช้สำหรับแอพพลิเคชั่นต่าง ๆ อันนับตั้งแต่งานควบคุมแบบง่าย ๆ ที่ใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ภายในบ้านและสำนักงาน จนถึงระบบบังคับควบคุมที่ซับซ้อนซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมและทางทหาร ที่ให้ตัวเลขข้อมูลออกมาคราวละมาก ๆ จนสามารถท้าทายวิจารณญาณของผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ว่าใครจะอยู่หรือใครจะไป และสมมติว่าถ้าจำนวนผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ข้อมูลเกิดมีน้อยเหลือเกิน เราจะแก้ปัญหาในเรื่องของข้อมูลล้นหรือท่วมได้อย่างไร คำตอบก็มีว่าหนทางหนึ่งที่จะแก้ปัญหานี้ก็โดยการอาศัยระบบผู้เชี่ยวชาญแบบทันการณ์ (real-time expert systems) ที่รวมเอาความชำนาญหรือความเชี่ยวชาญจากมนุษย์ กับความแม่นยำรวดเร็วของคอมพิวเตอร์ยุคใหม่เข้ามาอยู่ในที่เดียวกัน อันจะทำให้ธุรกิจอุตสาหกรรมที่มีข้อมูลมากจนล้นไม่ต้องคอยหวาดวิตกในเรื่องของความปลอดภัยหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนผลกำไรที่แขวนไว้กับความสับสนของตัวเลขข้อมูลแบบกองพะเนิน

## อิทธิพลของคอมพิวเตอร์แบบทันการณ์

สาเหตุประการสำคัญที่ทำให้เกิดมีตัวเลขข้อมูลเป็นจำนวนมากหลั่งไหลเข้ามาให้ผู้ที่ทำหน้าที่ในด้านบังคับควบคุมต้องตัดสินใจนั้นก็เนื่องมาจากความซับซ้อนของระบบต่าง ๆ ที่ทำงานโดยอาศัยคอมพิวเตอร์แบบทันการณ์ (real-time computerized systems) ที่นับแต่จะมีความสลับซับซ้อนมากขึ้นทุกวัน ซึ่งเมื่อเทียบกับเมื่อ 2-3 ปีที่แล้วมาก็จะเห็นว่า ระบบแบบทันการณ์ (real-time systems) ในขณะนั้นไม่ยุ่งยากซับซ้อนเหมือนสมัยนี้ และถ้าจะมองไปในอนาคตก็ยิ่งจะซับซ้อนมากขึ้นอีก เพราะระบบเช่นนี้จะเข้าไปควบคุมการทำหน้าที่ต่าง ๆ ในอัตราที่เร็วขึ้น พร้อมกับการรวมเอาแฟกเตอร์ต่าง ๆ เข้ามาพิจารณามากขึ้นก่อนที่จะส่งผลไปให้ผู้รับผิดชอบต้องพิจารณาเพื่อทำการตัดสินใจในแง่ของการบังคับควบคุมต่อไป ซึ่งผลอันเกิดจากระบบแบบทันการณ์นี้ก็จะปรากฏออกมาในรูปของตัวเลขข้อมูลเป็นจำนวนมากที่ทยอยกันเข้ามาให้มนุษย์ผู้ปฏิบัติหน้าที่ต้องรับรู้และพิจารณาอย่างไม่ขาดสายนี่เอง ที่เป็นเครื่องบ่งบอกว่าถึงเวลาที่จะต้องทำอะไรสักอย่างเพื่อแก้ปัญหาเรื่องข้อมูลล้นให้หมดสิ้นไป อันทำให้นึกถึงระบบผู้เชี่ยวชาญแบบทันการณ์ ซึ่งเป็นสิ่งที่เป็นไปได้อยู่แล้วในขณะนี้ว่าจะสามารถเข้ามาแก้ปัญหาในเรื่องนี้ได้เป็นอย่างดี เพราะถ้าขืนใช้เพียงแค่ผู้ปฏิบัติงานแต่เพียงอย่างเดียวให้มาเผชิญกับข้อมูลแบบมากเกินจะรับรู้ก็จะมีผลให้ผู้ทำงานเกิดความล้าจนไม่สามารถจะติดตามพิจารณาข้อมูลทุกส่วนได้อย่างถี่ถ้วนและครบครัน ซึจะทำให้เกิดความเสียหายเพราะมีการตัดสินใจผิดพลาด รวมทั้งผลเสียอื่นที่จะตามมาอีกมากมาย อันนี้เองที่คอมพิวเตอร์ที่ทำงานได้เร็วมาก ๆ กับระบผู้เชี่ยวชาญแบบทันการณ์จะเข้ามาช่วได้คือ ช่วยให้สามารถตัดสินใจได้ดีขึและเร็วขึ้น เพื่อป้องกันการเสียหายอย่รุนแรงอันเกิดจากการตัดสินใจผิดพลา

นอกจากนี้ยังสามารถลดปัญหาในเของการขาดแคลนบุคลากรที่เชี่ยวชา



ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ด้วย

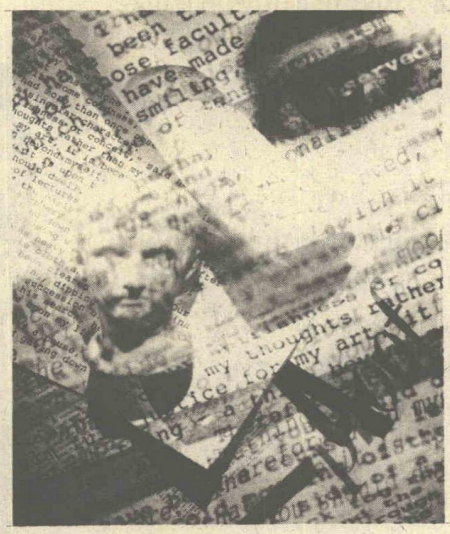
อีกตัวอย่างหนึ่งที่จะยกขึ้นมาประกอบในเรื่องเกี่ยวกับข้อมูลล้นก็คือ เรื่องของการควบคุมดาวเทียม (satellite control) ซึ่งต้องการบุคลากรที่สามารถวิเคราะห์เหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ซับซ้อนมาก ๆ และให้การแนะนำการแก้ปัญหาได้เร็ว ซึ่งนับวันมีแต่จะเลือกหาบุคคลเช่นนี้ได้ยากขึ้นทุกขณะ ตัวอย่างของความซับซ้อนของการควบคุมดาวเทียมก็จะดูได้จาก เช่น กรณีของหอดูดาวที่เรียกว่า Hubble Space Telescope ที่มีเครื่องวัดรู้ (sensors) ถึง 6,000 ตัว ที่จะต้องคอยติดตามดูดาวเทียมอยู่ตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งการติดตามในกรณีนี้ก็ต้องเป็นแบบทันการณ์ (real time) นอกจากนี้ก็ยังมีธุรกิจและอุตสาหกรรมต่าง ๆ อีกหลายอย่างที่อยู่ในข่ายนี้ เช่น ตลาดการเงิน ซึ่งจะต้องอาศัยผู้ค้าเงิน (หรือเทรดเดอร์) ที่มีความเชี่ยวชาญสูงในแง่ของการสามารถรวบรวมและกลั่นกรองข้อมูลเป็นจำนวนมากแล้วทำการตัดสินใจอย่างรวดเร็วและถูกต้อง แต่บุคลากรในด้านนี้ก็นับแต่จะหาได้ยากขึ้นเรื่อย ๆ เหมือนอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่สำคัญก็คือ การค้าเงิน (financial trading) เป็นกิจกรรมที่มีปัจจัยอันซับซ้อนในหลาย ๆ ด้านเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ในแง่ที่ว่าการค้าแบบนี้จัดเป็นกิจกรรมที่มีการเคลื่อนไหวเร็วมาก และจะขึ้นกับปัจจัยอิทธิพลจากเศรษฐกิจ การเมือง สภาวะภูมิอากาศของแต่ละประเทศที่เกี่ยวข้องจนถึงปัญหาในด้านการเงินการคลังในอีกหลาย ๆ ประเด็น อันเป็นที่มาของการเกิดมีตัวเลขข้อมูลเป็นจำนวนมากมายให้ต้องนำมาวิเคราะห์ในเวลาอันสั้น ก่อนตัดสินใจอันเหมาะที่จะนำระบบผู้เชี่ยวชาญแบบทันการณ์เข้ามาช่วยอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้ได้วิธีการติดตามและกลยุทธ์ในการควบคุมที่ค่อนข้างสมบูรณ์ ส่วนการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ของระบบเช่นนี้ก็มี เช่น

- ปฏิบัติการต่าง ๆ ในอวกาศ
- การสั่งและการควบคุมในด้านทหาร
- การติดตามและควบคุมการทำงานของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าและโรงจักรนิวเคลียร์
- การควบคุมการจราจรทางอากาศ
- ระบบมลภาวะและระบบขนส่งต่าง ๆ
- การทำความเข้าใจสัญญาณต่าง ๆ และเรดาร์
- ระบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ในกิจกรรมอวกาศ (เช่น การตรวจวัดติดตามการทำงานของระบบไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อน ตลอดจนระบบสนับสนุนการดำเนินชีวิต)
- การติดตามและควบคุมการสื่อสารในรูปที่เป็นเน็ตเวอร์ก
- ติดตามการทำงานในจุดต่าง ๆ ของโรงงาน และควบคุมกระบวนการผลิต รวมทั้งสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับงานทุกด้านของโรงงานอุตสาหกรรม
- ใช้ในทางการแพทย์ เช่น ติดตามอาการของคนไข้
- สถิติเศรษฐศาสตร์ (econo[illegible]) และการเงิน เช่น ติดตามสภาพตลาดรวมทั้งการให้คำปรึกษาต่าง ๆ จนถึงการทำหน้าที่เป็นเทรดเดอร์

## ความหมายของคำว่าทันการณ์

โดยทั่ว ๆ ไปนั้น คำว่าทันการณ์หรือรีลไทม์ (real time) จะมีความหมายว่า "เร็ว" ส่วนในแง่ของระบบที่เป็นแบบทันการณ์นั้น ก็จะหมายถึงระบบที่สามารถประมวลผลข้อมูลได้รวดเร็วจนทันต่อเหตุการณ์ นอกจากนี้ในบางครั้ง คำว่าทันการณ์ยังหมายถึง "เร็ว" เท่าที่จะคิดไปถึง หรือเร็วจนมนุษย์ไม่สามารถทำได้ ในแง่ของการใช้งานนั้น ระบบแบบทันการณ์จะหมายถึง ระบบที่สามารถสนองตอบข้อมูลที่หลั่งไหลเข้ามาได้เร็วกว่าอัตราความเร็วของข้อมูลนั้น ๆ นอกจากนี้ยังมีผู้แบ่งคำว่าทันการณ์ออกเป็น 2 แบบที่เรียกว่า ฮาร์ด (hard) และซอฟต์ (soft) ระบบทันการณ์แบบฮาร์ดจะหมายถึงการกระทำหรือการแก้ปัญหาที่ไม่ได้ขึ้นกับผลของการคำนวณแต่อย่างเดียว แต่จะขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดผลในด้านต่าง ๆ ด้วย เวลาจึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญสำหรับ hard real-time เช่น ระบบนำล่องที่

**KNOWLEDGE - BASED**
**ระบบฐานความรอบรู้แบบทันการณ์**



อยู่ในอาวุธนำวิถีที่ต้องการเวลาตอบโต้ในระยะเวลาที่สั้นมากในขอบเขตอันหนึ่ง และถ้าเกิดไม่อยู่ในขอบเขตนี้เมื่อใด อาวุธนำวิถีก็จะมีสภาพที่ขาดการควบคุม อันแสดงว่าถ้าการตอบโต้ช้าไปกว่ากรอบเวลาอันหนึ่งเมื่อใด ก็จะไม่เกิดประโยชน์แต่อย่างใด ส่วนความทันการณ์แบบซอฟต์นั้นก็ยังคงจะต้องมีขีดจำกัดในเรื่องของเวลาแต่ไม่เข้มงวดนัก คือถึงแม้ว่าการกระทำหรือการตอบโต้ที่เลยขีดจำกัดของเวลาอันหนึ่งไปนั้นจะผิดจุดประสงค์ แต่ยังถือว่าพอจะมีผลประโยชน์อยู่บ้าง เว้นแต่ว่าคุณค่าของการปฏิบัติงานนั้นจะลดลง และจะลดลงไปตามความช้าของการกระทำหรือการตัดสินใจ ระบบแบบทันการณ์ส่วนใหญ่ที่มีใช้ในขณะนี้จะมีทั้งที่เป็นแบบฮาร์ดและซอฟต์ ผสมกันอยู่ทั้งสองอย่าง

## รีลไทม์ (real time) กับ AI

การค้นคว้าในด้านระบบฐานความรอบรู้ต่าง ๆ (knowledge-based systems) เท่าที่เป็นอยู่ในอดีตนั้น ไม่ได้มีการนึกถึงเรื่องของรีลไทม์ หรือความทันการณ์เท่าใดนัก หรือแทบไม่มีเอาเลย คือถือว่าเวลาไม่ใช่เรื่องใหญ่ของระบบฐานความรอบรู้ต่าง ๆ (เช่น MYCIN, XCON, PROSPECTOR ฯลฯ) ในยุคแรก ๆ ของระบบฐานความรอบรู้จะมีลักษณะการทำงานที่ว่า โอเปอเรเตอร์จะเป็นผู้ป้อนอินพุตเข้าไปในคอมพิวเตอร์ และตัวเลขข้อมูลต่าง ๆ จะไม่แปรเปลี่ยนค่าในขณะที่กำลังมีการแก้ปัญหาอยู่ ส่วนเวลาในการสนองตอบและแก้ปัญหาก็มักช้า คือจะใช้เวลาเป็นนาทีหรือเป็นชั่วโมง ซึ่งจะแตกต่างกันเหมือนขาวกับดำเมื่อเทียบกับระบบแบบทันการณ์หรือรีลไทม์ซิสเต็มส์ ซึ่งตัวเลขข้อมูลต่าง ๆ จะแปรเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว และเวลาในการสนองตอบมักจะเป็นในระดับมิลลิวินาที (milli seconds) หรือมีส่วนเป็นพันวินาที (1/1000) เมื่อเป็นเช่นนี้ ระบบผู้เชี่ยวชาญหรือระบบฐานความรู้ที่จะเข้ามาช่วยแก้ปัญหาแบบนี้จึงต้องสามารถสนองข้อต้องการต่าง ๆ ตลอดจนสามารถทำงานภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ (เช่น เวลา เนื้อที่ที่มีอยู่ในหน่วยความจำหลักหรือเมมโมรี ฯลฯ) ได้ ซึ่งข้อจำกัดต่าง ๆ ดังกล่าวก็ไม่เคยมีอยู่ในระบบฐานความรู้ หรือระบบผู้เชี่ยวชาญในที่แล้ว ๆ มา อันทำให้ไม่สามารถนำเครื่องช่วยในการพัฒนาฐานความรู้ (knowledge-based-building tools) แบบเก่า (เช่น shells) มาใช้ในเรื่องของรีลไทม์ได้ เพราะเครื่องช่วยในการพัฒนาฐานความรู้ เช่น พวกเชลล์ต่าง ๆ นั้นมีข้อจำกัดอยู่หลายอย่าง เช่น

● เชลล์ต่าง ๆ มักไม่ค่อยมีขีดความสามารถในการใช้เหตุผลในด้านการสังเกตพฤติภาพของข้อมูลที่แปรไปตามเวลา ตลอดจนไม่สามารถที่จะสังเกตว่าความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์ต่าง ๆ ในอดีต ปัจจุบัน และอนาคตนั้นมีความเกี่ยวโยงกันอย่างไร ทั้งนี้เพราะว่าปัญหาต่าง ๆ ในด้านรีลไทม์นั้นจะอาศัยการตัดสินใจในแบบที่ต้องดูทั้งตัวเลขข้อมูลในปัจจุบันและในอดีตคู่กันไป

● การนำเชลล์มาทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์ต่าง ๆ เท่าที่ใช้กันอยู่ในด้าน data compression, signal processing, application specific I/O ฯลฯ นั้นยังเป็นการยากอยู่ นอกจากนี้เชลล์ส่วนใหญ่มักไม่ค่อยมีเครื่องอำนวยความสะดวกสำหรับพุ่งความสนใจไปที่เหตุการณ์ที่สำคัญ ๆ

● เชลล์ต่าง ๆ ยังขาดสิ่งที่จะมาประสานงานกับไทม์คล็อก (time clock) คือในระบบที่เป็นรีลไทม์นั้นมักจะมีการเชื่อมโยงเหตุการณ์ต่าง ๆ เข้ากับการนับเวลาจริง หรือที่เป็นช่วงเวลาที่เป็นห้วง ๆ (specific time interval) รวมทั้งไม่มีเครื่องอำนวยความสะดวกที่จะมาจัดการกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อใดก็ได้

● เชลล์ไม่สามารถรับอินพุตจากแหล่งภายนอก นอกจากจะรับไปจากโอเปอเรเตอร์ นอกจากนี้เชลล์ยังไม่สามารถให้เวลาในการสนองตอบที่แน่นอนไว้ใจได้ ที่สำคัญก็คือ AI อัลกอริทึมต่าง ๆ ทำหน้าที่ที่หนักไปในด้านการค้นหา (search intersive) และจะทำงานในรูปที่ก่อให้เกิดการบานปลายในที่สุด

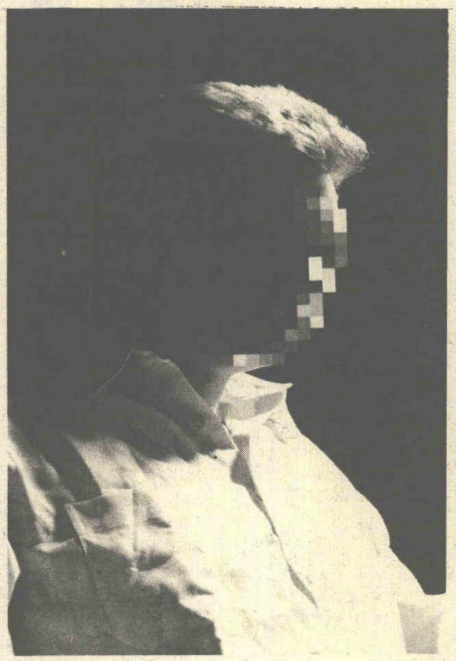
● เชลล์ไม่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อที่จะวิ่งหรือใช้งานอย่างต่อเนื่อง

ตลอดจนไม่สามารถปรับตัวเองเมื่อปริมาณงานเปลี่ยนไป หรือปรับตัวไปตามทรัพยากรทางคำนวณประมวลผลเท่าที่มีอยู่

ดังนั้นสิ่งที่จะเข้ามาชดเชยข้อบกพร่องต่าง ๆ ของเชลล์ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นก็จะต้องอยู่ในเค้าโครงอันใหม่ที่เรียกว่า ระบบฐานความรู้แบบรีลไทม์ (real-time knowledge-based system) ที่จะแตกต่างจากระบบผู้เชี่ยวชาญแบบธรรมดา เพราะในกรณีของรีลไทม์นี้ อินพุตต่าง ๆ ไม่ได้มาจากคน แต่จะมาจากเครื่องวัดอัตโนมัติเป็นจำนวนมากมายที่คอยติดตามกระบวนการต่าง ๆ อยู่ ส่วนเอาต์พุตจากระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรีลไทม์นี้ก็จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดการกระทำซึ่งเป็นตัวที่ก่อให้เกิดการบังคับควบคุมกระบวนการที่เป็นจุดสนใจสำหรับขณะหนึ่ง ๆ พร้อมด้วยการส่งข้อความไปยังโอเปอเรเตอร์ เพื่อบอกให้รู้ว่ามีอะไรบ้างที่กำลังดำเนินอยู่ และอาจให้คำแนะนำเกี่ยวแก่การกระทำต่าง ๆ ที่เห็นว่าจำเป็น

## เครื่องพัฒนา AI แบบทันการณ์

เมื่อได้พูดถึงข้อบกพร่องต่าง ๆ ของเชลล์ที่ทำให้ไม่สามารถใช้สำหรับพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ หรือระบบฐานความรู้แบบรีลไทม์ไปแล้ว ก็จะพูดต่อว่าในขณะนี้ได้มีเครื่องช่วยพัฒนาสำหรับระบบแบบรีลไทม์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าอยู่หลายตัวด้วยกัน ซึ่งส่วนมากก็เป็นการพัฒนาไปจากของเดิมที่มีอยู่แล้วโดยนำมาดัดแปลงและเพิ่มสิ่งต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับงานในด้านรีลไทม์เข้าไป เช่น ผลิตภัฑณ์ที่เรียกว่า R*Time ของ



บริษัททาลาเซียน ที่ใช้สำหรับการติดตามและควบคุมโดยมีดุลยพินิจเข้าช่วย (intelligent monitoring and control) ซึ่งพัฒนาขึ้นมาโดยอาศัยพื้นฐานในด้าน Knowledge representation ที่มีมานานแล้วมาเสริมแต่งให้สามารถแก้ปัญหาในด้านรีลไทม์

โครงสร้างของ R*Time แบ่งออกได้เป็นสามส่วนใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ

1. ขั้นตอนการใช้กลไกในการวินิจฉัย (inference-engine processes) ที่ทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลที่มีการแปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา โดยอาศัยสิ่งที่เรียกว่า rules, objects and classes

2. ขั้นตอนการเรียนรู้ข้อมูล (data acquisition processes) ที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงกับโลกภายนอกด้วยการนำข้อมูลที่ได้มา มากลั่นกรองแล้วส่งต่อไปยังโปรเซส (processes) อื่นต่อไป

3. ขั้นตอนที่เป็นอินเตอร์เฟสระหว่างคนกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งให้การสนับสนุนผู้ใช้ให้ได้รับความสะดวกในรูปของการชี้ตำแหน่งและกดรับสัญญาณ (point-and-click) ทางด้านกราฟิก และยูสเซอร์อินเตอร์เฟส

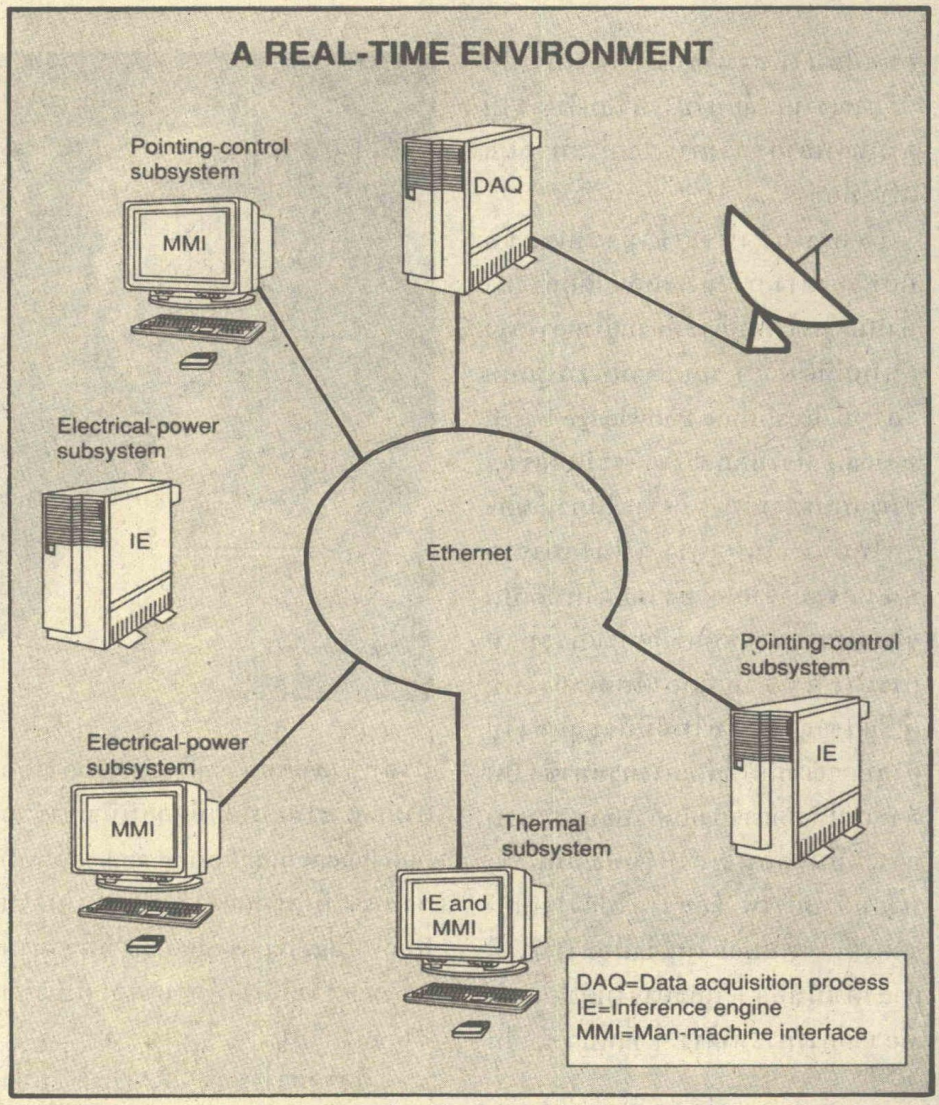
ในที่แล้ว ๆ มานั้น เชลล์ของระบบผู้เชี่ยวชาญได้รวมเอากลไกในการวินิจฉัยพร้อมกับการเรียนรู้ข้อมูล (data acquisition) และยูสเซอร์อินเตอร์-เฟสเข้าเป็นโปรเซสขนาดใหญ่เพียงอันเดียว โดยที่ความมีขนาดใหญ่ของโปรเซสดังกล่าวมักสร้างปัญหาในแง่ของการก่อให้เกิดการคับคั่งของข้อมูลขึ้นในส่วนต่าง ๆ ของระบบคอมพิวเตอร์ เช่น หน่วยความจำหลักและซีพียู อันทำให้ระบบเช่นนี้ขาดความคล่องตัวจนไม่สามารถที่จะทำการตอบโต้ได้อย่างทันการณ์เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่สำคัญ ๆ จึงต้องมีการแบ่งแยกหน้าที่จากโปรเซสขนาดใหญ่มาก ๆ เพียงโปรเซสเดียวให้เป็นหลาย ๆ โปรเซส และให้แต่ละโปรเซสทำงานเป็นเอกเทศ ดังเช่นกรณีของ R*Time ที่จัดเป็นระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรีลไทม์ ซึ่งสามารถที่จะกระจายโปรเซสต่าง ๆ ไปเก็บไว้ที่ไหนก็ได้ เช่น ในเน็ตเวอร์กแบบแลน แล้วใช้ประโยชน์จากความเป็นเอกเทศของแต่ละโปรเซสมาก่อให้เกิดผลในบั้นปลายให้มากที่สุด พร้อมด้วยความรวดเร็วในการคำนวณที่เป็นแบบทันต่อเหตุการณ์ ข้อดีอีกอย่างของการแบ่งงานชิ้นใหญ่ ๆ ออกเป็นโปรเซสย่อย ๆ ก็คือ จะทำให้สามารถใช้สถาปัตยกรรมการจัดกระจายระบบงาน (distributed architecture) ที่มีหลาย ๆ ซีพียูได้อย่างสะดวก หากเห็นว่าจำเป็นต้องทำเช่นนั้น สำหรับกรณีของ R*Time นี้ก็ได้อาศัยหลักการดังได้กล่าวในข้างต้น โดยได้กระจายโปรเซสต่าง ๆ ออกไปอยู่ในเวอร์กสเตชันจำนวน 6 ตัว เพื่อให้แยกกันทำหน้าที่ต่าง ๆ เช่น การติดตามดูแลระบบไฟฟ้า ระบบความร้อน จนถึงการควบคุมการชี้นำร่อง

(pointing control) ของดาวเทียมในรูปของรีลไทม์ ดังรูปที่ 1 รวมทั้งการใช้เน็ตเวอร์กที่เป็นแลน

นอกจากการใช้สถาปัตยกรรมการจัดกระจายระบบงานแล้ว R*Time ยังได้ใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพอีกหลายวิธีที่ทำให้ระบบฐานความรู้สามารถแก้ปัญหาในด้านรีลไทม์ได้อย่างมีสัมฤทธิ์ผล คุณลักษณะที่สำคัญ ๆ ในแง่ของการเพิ่มประสิทธิภาพของ R*Time มีอาทิเช่น

## 1. กฎที่ทำงานโดยขึ้นกับเวลา (time-triggered rules)

กฎสำหรับในที่นี้จะอยู่ในรูปของ if...then...ที่เหมือนกับระบบผู้เชี่ยวชาญทั่ว ๆ ไป แต่จะมีส่วนที่สำคัญเพิ่มเข้าไปอีก นั่นก็คือเรื่องของ "เวลา" (เช่น ให้นำกฎข้อนี้มาทดสอบหรือนำมาใช้ในทุก ๆ 10 วินาที เป็นต้น) อันหมายถึงว่า ในระบบรีลไทม์นั้นจะต้องทำให้กฎต่าง ๆ ทำงานในรูปแฟกเตอร์ของเวลามาคอยกระตุ้น เพื่อให้การตอบโต้ต่าง ๆ เป็นไปอย่างไว้ใจได้ ดังเช่นตัวอย่างของกฎข้อหนึ่งที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 ที่อาศัยเวลาเป็นเครื่องกระตุ้นให้กฎเช่นนี้ทำงาน เพื่อทดสอบความผิดปกติในแบตเตอรีชนิดที่ให้กำลังงานที่ใช้ในการบังคับดาวเทียมขณะโคจรอยู่ในอวกาศ โดยจะมีการใช้กฎนี้ทุก ๆ 10 วินาที กฎที่ทำงานแบบ time-triggered นี้ นอกจากจะทำให้เวลาในการตอบโต้กับเหตุการณ์ต่าง ๆ อยู่ในรูปที่ไว้ใจได้แล้ว ยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิผลในแง่ที่ว่าไม่จำเป็นต้องใช้กฎนี้ในทุก ๆ ครั้งที่ข้อมูลที่อยู่ในส่วนที่เป็น antecedent (หรือส่วนที่เป็น if...) เกิดการเปลี่ยนแปลง




**รูปที่ 1 แสดงการทำงานของ R*Time ที่ให้โปรเซสเซอร์แต่ละตัวทำหน้าที่ต่าง ๆ กัน อันมีผลดีในแง่ของความเร็ว และตอบโต้ได้ทันการณ์ โดยที่โปรเซสต่าง ๆ อันได้แก่ กลไกในการวินิจฉัยและการเรียนรู้ข้อมูล และอินเตอร์เฟสระหว่างคนกับคอมพิวเตอร์จะแยกกันอยู่ในโปรเซสเซอร์แต่ละตัว**

## 2. ดุลยพินิจที่ขึ้นกับเวลา (temporal reasoning)

เชลล์ของระบบผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่ที่ใช้กันในปัจจุบัน จะอาศัยวิธีการต่าง ๆ ในรูปของออปเจคโอเรียนเต็ดให้ทำหน้าที่เป็นส่วนสำคัญของระบบ โดยทั่วไปนั้นออปเจค (objects) ตลอดจนคุณสมบัติประจำตัวของสิ่งนั้น ๆ จะถูกกำหนดและจัดแยกให้อยู่ในชั้นต่าง ๆ เช่น เฟรม (frames) ที่มีรูปขององค์กรแบบจากสูงไปต่ำโดยลดหลั่นลงไป และในขั้นต่าง ๆ ภายในองค์กร ก็จะมีการเชื่อมโยงกันด้วยสิ่งเชื่อมโยงแบบต่าง ๆ เช่น ในกรณีของการบังคับควบคุมดาวเทียมนี้ออปเจคอาจมีชื่อว่า battery-1 ที่อยู่ในชั้นของแบตเตอรี่และมีคุณสมบัติ เช่น กระแสไฟโวลเตจและสถานะ โดย

**TEMPORAL RULES**

```
RULE            : "Inadequate battery voltage";
CONTEXT         : { Maneuver };
TEST INTERVAL   : 10 seconds;
PRIORITY        : 100;

IF      battery1.voltage < 27.5
THEN battery1.status := abnormal;
       Alert( "eps", "battery1", "Present voltage of
                                  battery 1 is inadequate to
                                  support maneuver" );
```

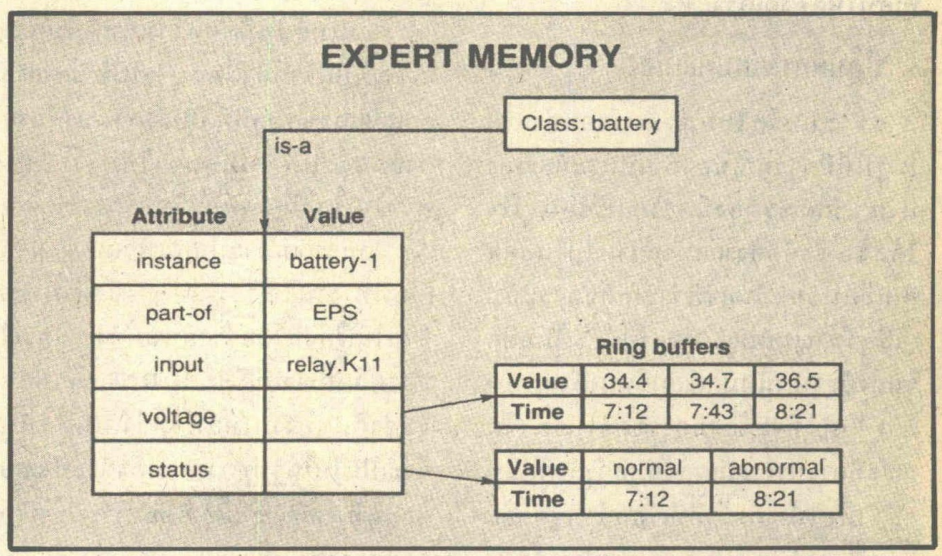
**รูปที่ 2 "กฎ" ดังในภาพจะแตกต่างจาก "กฎ" ที่ปรากฏอยู่ในระบบผู้เชี่ยวชาญทั่ว ๆ ไป ในแง่ที่ไม่ได้อาศัยเป้าหมายหรือข้อมูลมาเป็นเครื่องขับดัน แต่อาศัยการขับดันด้วย "เวลา" อันเป็นของจำเป็นสำหรับระบบแบบทันการณ์ โดยจะมีการนำกฎนี้มาใช้ทุก 10 วินาที ไม่ว่าโวลเตจหรือสถานภาพของแบตเตอรีที่อยู่ในดาวเทียมจะเป็นเช่นใด**

จะมีการเก็บค่าตัวเลขของคุณสมบัติที่เป็นครั้งหลังสุดไว้ในช่องสล้อต ซึ่งในการทำงานนั้นโปรดักชั่นรูล หรือ "กฎ" จะเกี่ยวข้องกับเฟรมด้วยการนำค่าตัวเลขมาใส่เข้าไปในช่องหรือสล้อต รวมทั้งการนำค่าตัวเลขออกมาจากสล้อต ซึ่งในระบบแบบรีลไทม์นั้นการนำดุลยพินิจเข้าไปใช้กับตัวเลขข้อมูลต่าง ๆ ก็มักต้องคำนึงถึงแฟกเตอร์ของเวลาด้วย เช่น ในกรณีของ R*Time ที่ได้นำ class-representation ที่ใช้ในระบบผู้เชี่ยวชาญแบบธรรมดามาเพิ่มมิติของเวลาเข้าไป โดยให้สล้อตต่าง ๆ มีเครื่องชี้ไปที่หน่วยความจำสำรองชนิดวงแหวน (ring buffers) ที่เก็บค่าตัวเลขต่าง ๆ ไว้เป็นกลุ่ม พร้อมด้วยเวลาที่ติดมากับตัวเลขแต่ละตัวดังในรูปที่ 3 ซึ่งจากตัวเลขที่แสดงประวัติของข้อมูลนี้ ก็จะทำให้สามารถสร้างกฎต่าง ๆ ที่รู้จักใช้ดุลยพินิจสำหรับเหตุการณ์ในอดีต ปัจจุบัน และอนาคต ดังแสดงในรูปที่ 4 อันเป็นตัวอย่างของกฎที่มีไว้ตรวจสอบว่าโวลเตจของแบตเตอรี่อยู่สูงกว่า 35 โวลต์ เป็นเวลานานไม่ต่ำกว่า 30 วินาทีหรือเปล่า ซึ่งเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า R*Time ก็จะทำให้การสร้างกฎแบบนี้ง่ายมากกว่าการอาศัยเทคนิคของระบบผู้เชี่ยวชาญโดยทั่วไปที่ไม่มีเครื่องอำนวยความสะดวกที่จะทำอะไรหลาย ๆ อย่างในด้านรีลไทม์ให้ได้ดีเท่ากับผลิตภัณฑ์ตัวนี้

### 3. พุ่งความสนใจไปที่เหตุการณ์ (focus of attention)

ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรีลไทม์ จะต้องสามารถทุ่มเททรัพยากร โดยมุ่งไปที่เป้าหมายที่มีความสำคัญ เมื่อมีเหตุการณ์อย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้น ซึ่งการที่จะทำเช่นนี้ได้ก็ต้องมีการบรรจุประสบการณ์และความรู้เข้าไปในระบบเช่นนี้ให้มากพอที่จะนำมาใช้ในกรณีต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องโดยจะเลือกใช้ความรู้ หรือประสบการณ์เฉพาะเท่าที่จำเป็นในการแก้ปัญหาในแต่ละครั้งเพื่อให้เกิดความรวดเร็วทันการณ์ ส่วนวิธีการที่ใช้ในการพุ่งความสนใจไปที่เหตุการณ์ที่สำคัญก็มีอยู่หลายอย่าง เช่น

- ทำการเปลี่ยนการตั้งเครื่องวัดที่ได้ทำไว้ในตอนแรกให้เริ่มต้นใหม่หมดเมื่อเห็นว่ามีเหตุการณ์บางอย่างเข้ามาแปรเปลี่ยนการมอนิเตอร์ที่กำลังดำเนินอยู่




**รูปที่ 3 ระบบผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานในสภาพแวดล้อมที่เป็นรีลไทม์จะต้องสามารถจำข้อมูลในอดีตให้ได้ในกรณีนี้หน่วยความจำสำรองชนิดวงแหวน (ring buffers) จะเข้ามาช่วยให้ระบบ frame representation จำข้อมูลที่เกี่ยวแก่โวลเตจและสถานะของแบตเตอรีทั้งในอดีตและปัจจุบัน**

```
TEMPORAL REASONING

RULE            : "Inadequate battery voltage";
CONTEXT         : [ Maneuver ];
TEST INTERVAL   : 60 seconds;
PRIORITY        : 100;

IF      Min( battery1.voltage, 30 seconds ) > 35
THEN battery1.status := abnormal;
        Alert( "eps", "battery1", "Battery 1 voltage has
                                   exceeded upper limits for
                                   at least 30 seconds" );
```

**รูปที่ 4 ระบบรีลไทม์นั้นจะทำงานโดยอาศัยเวลาเป็นเครื่องขับดัน กฎข้อนี้จะถูกนำมาใช้ทุก 10 วินาที ไม่ว่าโวลเตจและสถานะของแบตเตอรี่จะเป็นเช่นใด**

● นำกฎชุดใหม่มาใช้ให้เหมาะสมกับสถานการณ์เมื่อเห็นว่า กฎชุดเก่าไม่เหมาะสม

● เปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการเก็บข้อมูล หรือกรรมวิธีในการกลั่นกรองข้อมูลสำหรับข้อมูลที่กำลังทำการวิเคราะห์อยู่

● ส่งให้เครื่องมือในการวินิจฉัยตัวอื่นเริ่มทำงานเมื่อเห็นว่ามีเหตุการณ์พิเศษให้ต้องวิเคราะห์

### 4. ปฏิบัติการแบบต่อเนื่อง

ระบบรีลไทม์ส่วนมากจะทำงานในรูปที่มีการต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน และจะต้องมีความแน่นอนไว้ใจได้สูง ซึ่งก็ต้องขอเท้าความไปในอดีตสักเล็กน้อย ในแง่ที่ว่าเชลล์ของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบแรก ๆ ที่ใช้กันในอดีตจนถึงปัจจุบันนั้นมักเขียนขึ้นมาด้วยภาษาเช่น Lisp ที่จะต้องมีการขัดจังหวะ (ในขณะที่การประมวลผลข้อมูลกำลังดำเนินอยู่) เพื่อให้ทำหน้าที่ที่เรียกว่าหยุดและก็อบปี้ (stop and copy) เพื่อขจัดสิ่งที่ไม่ได้ใช้ออกไปจากหน่วยความจำหลัก จึงมักต้องทำการหยุดและก็อบปี้บ่อย ๆ แม้ว่าจะมีขีดความสามารถในด้านเก็บสะสมข้อมูลที่ไม่ใช้แล้วอยู่บ้างก็ตามสำหรับระบบส่วนมาก แต่สำหรับในระบบที่เป็นรีลไทม์นั้น การทำเช่นนี้เป็นการสิ้นเปลืองเวลาเกินไป จึงต้องมีวิธีในการทำให้หน่วยความจำหลักว่างในทันทีที่ไม่มีการใช้งาน เพื่อจะได้ใช้เนื้อที่ในส่วนที่ "ว่าง" นี้ได้อย่างไม่ติดขัดเมื่อเวลาเกิดความจำเป็น

## ก้าวไปสู่ยุคของรีลไทม์

มนุษย์นั้นมีขีดความจำกัดในการเผชิญกับการต้องตัดสินใจในท่ามกลางตัวเลขและข้อมูลที่มีเป็นจำนวนมากมายก่ายกอง แต่ดูเหมือนว่าไม่น่าจะสิ้นหวังในเรื่องนี้ เพราะวิทยาการในด้าน AI ตลอดจนการมีคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ทำงานได้เร็วมาก ๆ ซึ่งสามารถช่วยในเรื่องนี้ได้อย่างสบาย ดังเช่นกรณีของผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า R*Time ส่วนขีดจำกัดของมนุษย์ที่จัดว่าเป็นภัยนั้นก็จะเป็นไปในรูปของการมองข้ามตัวเลขข้อมูลที่สำคัญ ๆ เมื่อเกิดอาการล้า หรืออาจทำการตอบโต้กับเหตุการณ์ต่าง ๆ โดยขาดความสม่ำเสมอ นอกจากนี้ความล่าช้าในการตอบโต้หรือการตัดสินใจก็เป็นอีกเหตุหนึ่ง จนในที่สุดถ้ามีข้อมูลมาก ๆ ประดังกันเข้ามาให้ตัดสินใจก็อาจถึงกับช็อคก็มีทางเป็นไปได้ และที่ร้ายแรงที่สุดก็คือในขณะที่ผู้ปฏิบัติงานที่ต้องเกี่ยวข้องกับการบังคับควบคุมแล้วเกิดอาการตื่นตระหนกเอาอย่างมาก ๆ นั้น อาจเป็นช่วงเวลาที่มีเหตุการณ์สำคัญ ๆ ผ่านเข้ามาให้ต้องตัดสินใจอันอาจทำให้ทุกอย่างพังพินาศได้โดยง่าย จนเป็นเหตุให้ต้องนำระบบรีลไทม์ที่มีดุลยพินิจมาใช้งานโดยใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์แบบรีลไทม์สำหรับในสภาพแวดล้อมที่มีความสลับซับซ้อนสูง

ในโลกของทางปฏิบัติในขณะนี้ ก็ได้มีการนำระบบผู้เชี่ยวชาญแบบรีลไทม์มาใช้ในกิจการอุตสาหกรรมอยู่หลายอย่าง เช่น ใช้ในรูปของโปรเซสคอนโทรลเลอร์ในโรงงานอันมีตั้งแต่โรงงานผลิตกระดาษและผลิตเคมีภัณฑ์ จนถึงโรงงานขจัดน้ำที่เสีย และโรงงานอื่น ๆ อีกนับไม่ถ้วน

ขณะนี้การใช้งานระบบฐานความรอบรู้กำลังก้าวจากศิลป์ไปสู่ความมีกฎเกณฑ์ในทางวิศวกรรมมากขึ้น และในอีกไม่ช้าก็จะมีการใช้ระบบเช่นนี้ไปแก้ปัญหาในงานอีกมากมายหลายด้านที่ท้าทายอย่างมาก ๆ ในแง่ที่ว่า ระบบฐานความรอบรู้ที่ทำงานในสภาพแวดล้อมที่เป็นรีลไทม์จะสามารถตอบสนองสิ่งแวดล้อมที่มีการแปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา เพราะเหตุการณ์ต่าง ๆ มักเกิดขึ้นโดยไม่มีใครรู้ล่วงหน้าว่าจะมาในรูปใด ตลอดจนว่าจะต้องสามารถปรับเปลี่ยนข้อกำหนดที่เป็นข้อต้องการต่าง ๆ ได้อย่างคล่องตัว โดยอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของเวลา ฮาร์ดแวร์ และทรัพยากรมีค่าอื่น ๆ สรุปแล้วในต่อไป ๆ ไปนั้น เทคโนโลยีในด้านระบบผู้เชี่ยวชาญ (แบบรีลไทม์) จะเข้ามามีบทบาทอย่างมากในด้านการมอนิเตอร์ (monitoring) และการบังคับควบคุมระบบที่มีความซับซ้อนสูง